

采区延伸掘进串联通风风险防控与规范化管理路径

辛永强

宁夏王洼煤业有限公司 宁夏 固原 756500

摘要：采区延伸掘进阶段多存在临时串联通风工况，该通风方式动态性、耦合性强，易引发瓦斯积聚、通风失效、粉尘超标等安全隐患，且当前矿井存在技术管控不足、管理制度不完善、人员能力薄弱等诸多问题。本文剖析串联通风运行特性与现存风险短板，从技术防控、制度建设、人员管控、智能赋能四个维度，构建全流程风险防控体系与规范化管理路径，为矿井串联通风安全管控提供技术与参考。

关键词：采区延伸掘进串联通风；风险防控；规范化管理路径

引言：在煤矿采区延伸掘进、巷道改造等采掘衔接阶段，独立通风系统难以快速成型，串联通风成为主流临时通风方式。受巷道动态延伸、风阻动态变化、作业面相互耦合影响，串联通风风险传导性、叠加性特征突出，极易诱发各类安全事故。现阶段部分矿井通风管控模式滞后，难以适配动态通风工况，隐患防控存在诸多漏洞。基于此，本文系统探究其通风机理与安全风险，制定科学规范的防控与管理方案。

1 采区延伸掘进串联通风相关理论与运行特性

1.1 串联通风核心概念与适用场景

（1）串联通风定义：井下多个掘进工作面或采掘工作面依次串联，风流依次流经各作业地点的通风方式，分为正规串联通风和临时串联通风两类。在采区延伸掘进场景下，串联通风常表现为多个掘进头共用一条进风巷道，风流按序流经各作业面，最终经由回风系统排出，其风量分配与网络结构密切相关，任一环节的通风参数变化均会引起下游工作面的风流状态改变。（2）采区延伸掘进串联通风适用场景：采区巷道延伸、边角煤开采、巷道修复改造等采掘衔接阶段，通风巷道未完全贯通、独立通风系统未成型的临时作业场景。该通风方式作为过渡性通风措施，主要服务于巷道单向掘进期间无法形成贯穿风流、需借助已掘巷道实现后续工作面供风的特定工况，具有时间紧迫性强、空间约束性大的典型特征。

1.2 采区延伸掘进通风系统运行机理

（1）风流流动规律：采区动态延伸过程中，巷道长度、断面、阻力持续变化，串联风流风量、风压分布呈现动态波动特征，风流稳定性受掘进进度、巷道变形影响显著。随着掘进距离增加，巷道摩擦风阻呈非线性增长，主通风机工况点发生偏移，需结合实际掘进进度动态调节局部通风机运行参数，以确保各串联工作面风量

满足安全规程要求^[1]。（2）通风系统耦合特性：多个掘进工作面串联后，各作业地点通风状态相互关联，单一工作面通风异常会传导至整个串联通风系统，引发系统性通风隐患。当前一工作面出现风量不足、风流短路或有害气体异常涌出时，下游工作面将直接承受污风侵袭，瓦斯、粉尘浓度呈逐级叠加态势，治理难度随串联级数增加呈指数上升。

1.3 串联通风与独立通风的差异性对比

（1）风险差异：串联通风存在污风循环、有害气体叠加积聚风险，安全隐患远高于独立通风，风险传导性、突发性更强。独立通风条件下，各工作面进风均为新鲜风流，相互隔离；而串联通风条件下，前序工作面产生的瓦斯、煤尘、有害气体及爆破烟尘直接进入后续工作面，造成污染物浓度逐级累积，一旦前序工作面出现瓦斯超限或火灾事故，下游工作面人员安全将受到直接威胁。（2）管理差异：独立通风系统管控流程标准化、固定化，而采区延伸串联通风具有临时性、动态性，管控要求更精细、动态调整频次更高。串联通风需建立专项管理台账，严格执行工作面排序与风量分配审批制度，每班开展有害气体与风速监测，并根据掘进进度实时修订通风系统图，调整风量分配方案，其管理复杂度和动态响应要求远超独立通风系统。

2 采区延伸掘进串联通风主要风险及现存管理问题

2.1 核心安全风险辨识

（1）瓦斯积聚与爆炸风险：串联风流携带前序工作面瓦斯、粉尘等有害气体，易在后续掘进巷道死角积聚，风量不足、风流紊乱时极易引发瓦斯超限、爆炸事故。随着采区不断延伸，巷道通风距离增加，风阻上升导致有效风量递减，瓦斯在串联风路中逐级传递、浓度叠加，一旦前序工作面出现瓦斯异常涌出，后续作业面将直接面临瓦斯超限威胁。（2）通风失效与风流短路风

险：采区延伸过程中巷道贯通、密闭拆除、设备挪移易导致通风阻力突变，引发风流短路、无风、微风等通风失效问题。特别是在多巷并联转串联或串联转独立的过渡阶段，临时通风设施设置不当或拆除时机把握不准，极易造成风流路线紊乱，局部区域出现风速低于规程要求的微风状态，瓦斯积聚风险急剧升高。（3）火灾与粉尘超标风险：串联通风污风循环导致巷道粉尘持续堆积，高温热源叠加可燃气体积聚，易诱发井下火灾，同时粉尘超标引发职业健康危害。前序工作面产生的呼吸性粉尘沿串联风路向后序工作面输送，粉尘浓度沿程逐级递增，不仅恶化作业环境、加速机电设备磨损，更在瓦斯与煤尘共存条件下显著提升爆炸危害等级。

2.2 现场技术管控问题

（1）通风设计不合理：采区延伸掘进前期通风方案针对性不足，未结合巷道延伸进度动态优化通风参数，风量配比、通风设备选型与现场工况不匹配。部分矿井在编制串联通风设计时，沿用独立通风的通用模板，缺乏对串联风路风压平衡、风量分配的系统计算，局部通风机选型未充分考虑远距离供风沿程阻力损失，造成实际供风量无法满足作业面需求。（2）风险监测不到位：监测设备布设点位不合理、覆盖不全，动态监测、实时预警能力不足，无法及时捕捉风流波动、气体超限等隐性风险。串联通风条件下，各工作面间存在强耦合关联，而现有监测系统多按独立通风模式布置传感器，缺乏对串联风路关键节点（如联络巷、风门两侧、串联接口处）的针对性监控，导致风流异常无法第一时间定位，贻误处置时机。

2.3 规范化管理体系短板

（1）管理制度不完善：缺乏适配采区动态延伸的串联通风专项管理制度，作业流程、隐患排查、责任划分等标准不清晰，存在管理盲区。串联通风涉及工作面排序、风量分配、设施构筑与拆除时序等多环节协同，但目前多数矿井将其混同于一般局部通风管理，未针对串联风路“牵一发而动全身”的特性建立专项管控流程，各环节衔接缺乏刚性约束。（2）作业人员专业能力不足：一线通风作业人员、现场管理人员对串联通风风险认知不足，动态管控、应急处置能力薄弱，违规作业现象时有发生。作业人员对串联风流中瓦斯浓度逐级放大效应缺乏量化概念，对风流短路、风量失衡等异常工况的辨识能力有限，实际操作中常出现风筒延接不及时、风门管理不到位等行为，埋下系统性安全隐患^[2]。（3）考核监督机制缺失：未建立串联通风专项考核监督体系，隐患整改闭环管理不到位，管控措施落地执行力不

足。串联通风安全管理的特殊性在现有考核指标中未充分体现，隐患发现、登记、整改、验收、销号的闭环链条运行不畅，部分隐患反复出现却未能从管理根源上得到整治，导致安全管控措施停留在纸面，难以转化为现场实效。

3 采区延伸掘进串联通风风险防控与规范化管理路径

3.1 构建全流程动态风险防控技术体系

（1）动态优化通风系统：结合采区延伸进度，阶段性测算巷道通风阻力、风量需求，及时调整通风设备、优化风流路线，杜绝无风、微风、风流短路问题。随着采区持续延伸，巷道长度增加引起摩擦阻力非线性上升，需每延伸50米后开展一次通风阻力实测与风量核定，依据测定结果动态调整局部通风机运行频率或更换高压机型，同步优化风筒吊挂位置与接头方式，最大限度减少漏风损失，确保各串联工作面风量始终满足规程要求^[3]。（2）强化有害气体精准防控：优化瓦斯、粉尘监测点位，实现全覆盖实时监测，配套局部通风、喷雾降尘、瓦斯抽采设备，从源头管控有害气体积聚风险。沿串联风流方向，在每一工作面进风口前5米、工作面回风侧及巷道顶部拐弯死角处分别设置传感器，确保监测无盲区。前序工作面强化边掘边抽和湿式作业，后续工作面增设高压喷雾降尘和风流净化水幕，对进入作业区域的污风进行二次净化，有效遏制有害气体逐级叠加。（3）建立风险预判预警机制：运用通风数值模拟技术，预判采区延伸过程中通风系统变化趋势，提前排查隐性风险，实现风险事前预防、事中管控。基于实测通风数据建立三维仿真模型，输入不同掘进阶段的巷道参数、风机工况曲线及自然风压变化数据，模拟各阶段风流场和瓦斯浓度分布，自动识别低风速区、涡流区和风流反向区域，依据模拟结论提前调整设计方案，将风险消除在萌芽状态。

3.2 完善串联通风规范化管理制度体系

（1）制定专项作业规范：细化采区延伸掘进串联通风审批、施工、巡检、收尾全流程作业标准，明确各岗位操作规范，杜绝违规串联通风作业。审批环节须严格审查串联通风设计，逐项核验风量计算、风机选型、监测布点和应急措施的技术合理性；施工环节须严格执行工作面排序方案，严禁擅自改变串联顺序；巡检环节统一检查表格，规定每班检查不少于三次；收尾环节须在独立通风系统形成且运行稳定后方可拆除临时通风构筑物。（2）健全隐患闭环管控机制：建立日常排查、专项检查、不定期抽查三级隐患排查体系，明确隐患分级、整改时限、责任人员，实现隐患排查-整改-复核闭环管

理。日常排查由当班瓦检员每班执行,重点巡检风筒完好度、风门密闭性及传感器读数;专项检查由通风副总工程师每周组织,覆盖系统结构、设备性能和制度执行情况;不定期抽查由安监部门实施,验证现场与台账一致性。各类隐患按严重程度分级管理,整改完成后由原排查人员复核确认^[4]。(3)优化岗位责任体系:细化管理人员、作业人员、监测人员岗位职责,构建层层负责、全员落实的责任管控体系,杜绝责任缺位、管理空转。构建矿级领导负总责、职能科室负监管责任、区队负直接责任、岗位人员负执行责任的四级责任链条,将通风系统调整审批、风量分配决策、设备维护保养、气体监测记录等各环节责任逐项落实到人,实行责任清单公示和责任追究制度。

3.3 强化人员培训与现场监督考核

(1)开展常态化专项培训:定期组织串联通风风险辨识、规范作业、应急处置等专项培训,提升全员安全管控意识和专业操作能力。培训采取理论授课与现场实操相结合,重点讲解串联通风风流运动规律、瓦斯逐级叠加机理、风量测定与调节方法及灾变逃生技能。每月组织集中培训,每季度开展实操演练,结束后统一闭卷考试,不合格者须补考合格方可上岗。(2)落实全过程现场监督:安排专人负责串联通风作业现场监护,重点管控通风设备运行、风流状态、气体浓度等关键环节,及时纠正违规操作。专职监护人员每两小时全线巡查一次,人工实测各工作面风量、风速和气体浓度,与监测系统数据交叉比对。当出现风量骤降、瓦斯持续上升等异常趋势时,监护人员有权立即下达停止作业命令,组织人员撤离并启动应急预案^[5]。(3)建立量化考核奖惩机制:将串联通风规范化管理落实情况纳入岗位绩效考核,明确奖惩标准,倒逼各项管控措施落地见效。考核指标涵盖监测设备完好率、风量合格率、隐患按期整改率及违规操作次数等项目,实行月度考评、季度总评,结果与绩效奖金、评先评优直接挂钩,推动规范化管理转化为行动自觉。

3.4 搭建智能化通风管理赋能体系

(1)推广智能通风监测设备:布设自动化风量、风压、气体监测终端,实现通风系统运行状态实时采集、远程监控。在串联风路关键断面和各工作面进回风巷道安装多功能智能传感器,集成风速、风压、瓦斯、一氧化碳、温度等测量功能,数据通过光纤环网实时上传至地面监控中心,实现全天候不间断采集和可视化展示。

(2)构建信息化管理平台:整合监测数据、隐患台账、作业记录,实现串联通风管理数字化、可视化,提升动态管控效率。平台应具备实时数据显示、历史趋势分析、超限自动报警、电子台账管理、任务闭环跟踪等模块,支持管理人员远程查看各工作面通风状态,自动生成风险分析报表和隐患排查报告,推动通风管理从经验模式向智能化数据驱动模式转型,全面提升管控精准度和响应时效。

结束语

采区延伸掘进串联通风的动态风险是制约煤矿采掘安全的关键因素,其风险隐蔽性、传导性极强,管控难度远高于常规通风模式。本文搭建的技术防控、制度规范、人员赋能、智能升级一体化管理体系,可有效破解现场管控难题,精准规避各类通风安全隐患。通过全流程、动态化、智能化管控,能够切实规范串联通风作业,筑牢煤矿井下采掘作业的安全生产防线。

参考文献

- [1]闫俊杰.煤矿“一通三防”智能化技术应用研究[J].煤炭技术,2025,44(07):180-183.
- [2]王润武,张永强,许建国.煤矿“一通三防”安全管理评价系统研究与应用[J].内蒙古煤炭经济,2025,21(15):106-108.
- [3]刘浩东.高瓦斯矿井综掘工作面瓦斯治理及串联通风防控技术[J].西部探矿工程,2024,36(03):53-55.
- [4]张利宙.煤矿采掘延伸通风系统改造及安全管控效果分析[J].西部探矿工程,2024,36(02):180-182.
- [5]臧燕杰.矿井采掘接续通风系统优化与隐患治理实践[J].江西煤炭科技,2024,23(01):159-162.